

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення лабораторних робіт
із навчальних дисциплін
«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»
і

«ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ»

*(для студентів 5–6 курсів денної і заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»
спеціальностей 192 – Будівництво та цивільна інженерія
(спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів») і
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017

Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт із навчальних дисциплін «Процеси та обладнання для обробки осаdів» і «Технологія переробки та утилізації осаdів» для студентів 5–6 курсів денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальностей 192 – Будівництво та цивільна інженерія (спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та «Рациональне використання і охорона водних ресурсів») і 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / К. Б. Сорокіна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 36 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. К. Б. Сорокіна

Рецензент канд. техн. наук, доц. Т. О. Шевченко

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2017.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	4
1	ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	5
2	ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	7
3	РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	8
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	35

ВСТУП

Сьогодні для багатьох міст, населених пунктів і промислових підприємств дуже гострою є проблема обробки та утилізації осадів, які утворюються при очищенні води. Часто осади в необробленому вигляді протягом десятків років зливалися на переобтяжені мулові площадки, у відвали, хвостосховища, кар'єри, що привело до порушення екологічної безпеки й умов життя населення.

На сьогоднішній день на більшості станцій очищення стічних вод утворюється величезна кількість частково зневодненого й недостатньо стабілізованого осаду. Обробку осадів стічних вод необхідно проводити з метою максимального зменшення їх об'ємів і підготовки до подальшого розміщення, використання або утилізації при забезпеченні підтримки санітарного стану навколишнього середовища або відновлення її сприятливого стану.

У розвитку методів обробки осадів можна виділити декілька етапів. Перша половина ХХ століття характеризувалася в основному застосуванням анаеробного зброджування, спочатку в емшерах і двоярусних відстійниках, а потім в метантенках, що обігріваються, з подальшим природним зневодненням і підсушенням на мулових площадках. Замість мулових площадок на каналізаційних очисних спорудах крупних міст все частіше почали застосовувати методи механічного зневоднення на вакуум-фільтрах з попереднім кондиціонуванням осадів неорганічними реагентами. Достатньо тривала практика експлуатації цих апаратів дозволила виявити їх недоліки (складність, антисанітарні умови і висока вартість експлуатації, значна витрата реагентів – до 20 % маси сухої речовини осаду, низька питома продуктивність). Прогресивнішими є технології зневоднення осадів на осаджувальних шнекових центрифугах, стрічкових, рамних і камерних фільтр-пресах. Для кондиціонування осадів почали використовувати органічні флокулянти.

Вирішення проблеми зневоднення осадів стічних вод займаються вчені всього світу. Проводять нові дослідження, розробляють нові технології та устаткування.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Забруднення, що знаходилися в стічних водах у відносно розбавленому вигляді, при очищенні стічних вод затримують і концентрують, в результаті отримують осади стічних вод.

В осади стічних вод переходить значна частина забруднень, що поступають на очисну станцію. Якщо в цілому від одного жителя за добу поступає близько 120 г забруднень, то з цієї кількості приблизно 40 г осідає як осад первинних відстійників і 35 г як надлишковий мул. Таким чином, приблизно 75 г забруднень або 62,5 % від загальної маси поступає на обробку у вигляді осаду. Рациональне й економічне вирішення проблеми ліквідації осадів полягає в максимальному використанні цінних речовин, що містяться в них, при мінімальних витратах на обробку.

Осади стічних вод, які скупчуються на очисних спорудах, є водними суспензіями, що виділяють із стічних вод в процесі їх механічного, біологічного або фізико-хімічного очищення, з об'ємною концентрацією полідисперсної твердої фази від 0,5 до 10 %. Осади відносять до класу важкозведводнюваних полідисперсних суспензій. Як і у всіх суспензіях, волога в осадах стічних вод знаходиться в хімічному, фізико-хімічному та фізико-механічному зв'язку з твердими частинками, а також у вільному стані.

Залежно від умов формування і особливостей відділення розрізняють осади первинні та вторинні.

До *первинних осадів* відносять грубодисперсні домішки, які знаходяться в твердій фазі й виділені з води такими методами механічного очищення, як проціджування, седиментація, фільтрація, флотація, осадження у відцентровому полі. До *вторинних осадів* відносять домішки, що спочатку знаходяться у воді у вигляді колоїдів, молекул та іонів, але в процесах біологічного або фізико-хімічного очищення води або обробки первинних осадів утворюють тверду фазу. Загальна класифікація осадів приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація осадів стічних вод

Групи осадів	Типи осадів	Споруди й устаткування, які відділяють осади
<i>Первинні осади</i>		
I	Осади грубі (крупні забруднення)	Решітки, сита
II	Осади важкі	Піскоуловлювачі
III	Осади плаваючі	Жироловки, відстійники
IV	Осади сирі, виділені із стічної води в результаті механічного очищення	Первинні відстійники, освітлювачі
<i>Вторинні осади</i>		
V	Осади сирі, виділені із стічної води після біологічного або фізико-хімічного очищення	Вторинні відстійники, флотатори

Продовження таблиці 1.1

Групи осадів	Типи осадів	Споруди й устаткування, які відділяють осад
VI	Осади зброжені, що пройшли обробку в анаеробних перегнивачах, метантенках, і осади, стабілізовані в аеробних стабілізаторах	Септики, двоярусні відстійники, освітлювачі, перегнивачі, метантенки, аеробні стабілізатори
VII	Осади ущільнені, піддані згущуванню до межі текучості (до вологості 90–85 %)	Ущільнювачі: гравітаційні, флотаційні, сепаратори
VIII	Осади зневоднені, піддані згущуванню до вологості 80–40 %	Мулові площадки, вакуум-фільтри, центрифуги, фільтр-преси та ін.
IX	Осади сухі, піддані термічній сушці до вологості 5–40 %	Сушарки: барабанні, вальцові, з киплячим шаром, із зустрічними струменями

На очисних спорудах промислових підприємств утворюються осади й шлами (мінерального походження) виробничих стічних вод. Кількість, вологість, щільність та хімічний склад осадів і шламів виробничих стічних вод коливаються в широких межах.

Основне завдання обробки осадів стічних вод полягає в отриманні кінцевого продукту, властивості якого забезпечували б можливість його утилізації, або звели до мінімуму збиток, що наноситься навколишньому середовищу, і проводиться з метою зменшення об'єму осаду і його знезараження.

Технологічні процеси обробки осадів стічних вод можна розділити на наступні **основні стадії**:

- ущільнення (згущення);
- стабілізація органічної частини;
- кондиціонування;
- зневоднення;
- термічна обробка;
- утилізація цінних продуктів;
- ліквідація осадів.

При ущільненні в середньому видаляють 60 %, при механічному зневодненні 25 %, при термічній сушці й спалюванні до 15 % загальної кількості мулової води, що містить вихідний осад. При цьому масу оброблюваного осаду зменшують в середньому при ущільненні в 2,5 рази, при зневодненні в 12,5 раз, при сушці – на 60 %, а при спалюванні – в 150 разів.

2 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

При роботі в лабораторії студенти особливу увагу повинні звертати на техніку безпеки і дотримуватися правил безпечної роботи – вміти користуватися хімічним посудом, реактивами, розчинами і нагрівальними приладами.

Застосовуваний в лабораторії хімічний посуд у більшості випадків скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). При роботі хімічний посуд варто тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). При його митті необхідно стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно. У випадку невеликого порізу варто видалити осколки, змити кров навколо рани ватним тампоном, змоченим розчином марганцевокислого калію, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. При невеликих порізах рани можна покрити клеєм БФ–6 (для обробки мікротравм). При глибоких артеріальних ранах після видалення скла руку варто міцно перев'язати джгутом вище порізу, видалити кров навколо рани, накласти кілька шарів стерильної марлі, потім товстий шар гігроскопічної вати і звернутися до лікаря.

Дуже велике значення має знання студентів про сполуки, з якими їм приходить працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою, і при необережному поводженні слугувати причиною хімічних опіків і отруєнь. До таких речовин відносяться, насамперед, рідкі кислоти і луги. Усі реактиви і розчини, які використовуються в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, який вказує назву і концентрацію реагенту. При влученні сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5 %-ним розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2 %-ним розчином оцтової кислоти. Якщо кислота пролилася на підлогу, її варто засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

При роботі з реактивами варто завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих обсягів кислот, лугів і інших речовин виконують тільки за допомогою гумової груші. Засмоктування ротом категорично забороняється! Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах.

Нагрівальні прилади варто встановлювати на теплоізоляційні підставки. При необережній роботі можливі теплові опіки від самого приладу і нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колбодержачами, джгутом з рушника. Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів, не слід залишати їх без догляду. У випадку опіків першого ступеня (червоність) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію,

концентрація якого мусить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати і мазі від опіків. При опіках другого ступеня (міхури) обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію чи 5 %-ним розчином таніну. При опіках третього ступеня (руйнування тканин) рану покривають стерильною пов'язкою і викликають лікаря.

У приміщенні лабораторії, де працюють студенти, завжди повинні бути наготові протипожежні засоби: вогнегасники, азбест, пісок. Не допускається гасити водою олію, гас, бензин, сірковуглець та ін.

Кожен студент перед початком роботи в лабораторії зобов'язаний ознайомитися з основними положеннями «Інструкції з техніки безпеки для працюючих у хімічних лабораторіях».

Послідовність оформлення лабораторного журналу.

Дата:

Лабораторна робота №...

Назва роботи

Мета роботи:

Устаткування, прилади, реактиви:

Хід роботи (методика визначення):

Схема лабораторної установки:

Таблиця вихідних даних і результатів:

Формули та розрахунки:

або

Зміст роботи:

Обробка вивчених даних:

Висновки:

3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1.

Склад осадів та вплив якісних характеристик на властивості осадів

Мета лабораторної роботи. Вивчити вплив якісних характеристик на властивості осадів.

Елементарний склад сухої речовини осадів коливається в широких межах. Суха речовина сирих осадів має такий склад (% маси сухої речовини осаду): 35,4–87,8 С; 4,5–8,7 Н; 0,2–2,7 S; 1,8–8,0 N; 7,6–35,4 O; суха речовина активного мула містить, %: 44,0–75,8 С; 5,0–8,2 Н; 0,9–2,7 S; 3,3–9,8 N; 12,5–43,2 O. Осади містять сполуки кремнію, алюмінію, заліза, окислу кальцію, магнію, калія, натрію, цинку, хрому, нікелю та ін. (таблиця 3.1).

Активна реакція середовища в осадах коливається в межах 6–8, температура 12–20 °С.

Всі види осаду (окрім забруднень з решіток і осаду з піскоуловлювачів) містять 90–99 % рідини, яка складається з вільної (60–65 %) і зв'язаної (30–35 %), а зв'язану воду, у свою чергу, розділяють на колоїдно-зв'язану (22–30 %) і гігроскопічну (4–10 %), або фізико-механічно зв'язану (капілярно).

Таблиця 3.1 – Хімічний склад мінеральної частини осаду

Вміст, %	Тип осаду		
	З первинних відстійників	Активний мул	Зброджена суміш осаду первинних відстійників і активного мула
SiO ₂	21,4 – 55,9	17,6 – 33,8	27,3 – 35,7
Al ₂ O ₃	0,3 – 18,9	7,3 – 26,9	8,7 – 9,3
Fe ₂ O ₃	3,0 – 13,9	7,2 – 18,7	11,4 – 13,6
CaO	11,8 – 35,9	8,9 – 16,7	12,5 – 15,6
MgO	2,1 – 4,3	1,4 – 11,4	1,5 – 3,6
K ₂ O	0,7 – 3,4	0,8 – 3,9	1,8 – 2,8
Na ₂ O	0,8 – 4,2	1,9 – 8,3	2,6 – 4,7
SO ₃	1,8 – 7,5	1,5 – 6,8	3,0 – 7,2
ZnO	0,1 – 0,6	0,2 – 0,3	0,1 – 0,3
CuO	0,1 – 0,8	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3
NiO	0,2 – 2,9	0,2 – 3,4	0,2 – 1,0
Cr ₂ O ₃	0,8 – 3,1	0 – 2,4	1,3 – 1,9

Примітка. Окрім приведених, осади стічних вод містять ряд інших сполук і мікроелементів.

Вільну воду відділяють від осаду простою фільтрацією або віджиманням.

Колоїдно-зв'язана вода пов'язана з твердими частинками й обволікає їх міцною оболонкою, що не дозволяє частинкам з'єднуватися в крупні агрегати. Видалити таку воду можна тільки вакуум-фільтрацією або фільтр-пресуванням після коагуляції їх хімічними реагентами.

Гігроскопічна вода – це волога, поглинена речовиною. Вона не видаляється навіть при термічній сушці.

Для обґрунтування технології переробки та утилізації осадів необхідні відомості про різні **властивості осадів**, серед яких:

- *щільність осаду* ρ , кг/м³ – це його маса m , кг, яку містить одиниця об'єму V , м³; знаходять за формулою

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3; \quad (3.1)$$

- *концентрація твердої фази за об'ємом (об'ємна концентрація)* K_0 – відношення об'єму твердої фази V_T , м³, до вихідного об'єму аналізованої проби осаду V , м³. Визначають в долях одиниці за формулою

$$K_0 = \frac{V_T}{V}; \quad (3.2)$$

- *концентрація твердої фази за масою (масова концентрація) K_M* , яку характеризують відношенням маси твердої речовини M_T , кг, до вихідної маси відібраної проби осаду $M_{ВИХ}$, кг; визначають в долях одиниці за формулою

$$K_M = \frac{M_T}{M_{ВИХ}}; \quad (3.3)$$

- *питома концентрація маси твердої фази C* , кг/м³, яку визначають за формулою

$$C = \frac{M_T}{V} = \frac{\rho \cdot V_T}{V}, \text{ кг/м}^3; \quad (3.4)$$

- *вологість осаду W* в долях одиниці або у відсотках характеризують відношенням маси рідини M_P , кг, до загальної маси вологого осаду $M_{ВО}$, кг:

$$W = \frac{M_P}{M_{ВО}}, \quad (3.5)$$

при цьому $M_{ВО} = M_T + M_P$, кг, де M_T – маса сухої речовини осаду, кг;

Від вологості можна переходити до питомої концентрації і навпаки, використовуючі такі залежності:

$$W = \frac{\rho - C}{\rho} \cdot 100, \%; \quad C = \frac{100 - W}{100} \cdot \rho, \text{ кг/м}^3 \quad (3.6)$$

і визначати вологість за відомою питомою концентрацією;

- *зольність осаду* – характеризує вміст нелетких мінеральних домішок. При визначенні зольності в лабораторних умовах її можна розрахувати за формулою

$$Z = \frac{G_{ПР} - G_{П}}{G_B - G_{П}} \cdot 100, \%, \quad (3.7)$$

де $G_{ПР}$, $G_{П}$, G_B – маса тигля відповідно з прожареним осадом, порожнього і з навішуванням висушеного осаду, г;

- *гранулометричний склад твердої фази осадів*. Водовіддача осадів багато в чому залежить від розміру частинок їх твердої фази. Чим більше розміри частинок твердої фази, тим краще водовіддача суспензій. Для аналізу складу твердої фази органічних і органомінеральних осадів виконують мокрий ситовий аналіз, здійснюваний фракціонуванням осаду з добавкою чистої водопровідної води. За даними визначення будують графік залежності сумарного вмісту частинок в осаді від їх розміру, який має вигляд, представлений на рисунку 1.1;
- *теплофізичні характеристики осадів* – теплоємність, температуропровідність і теплопровідність осадів визначають методом двох температурно-часових точок на установці, яку використовують при дослідженнях теплоізоляційних матеріалів.

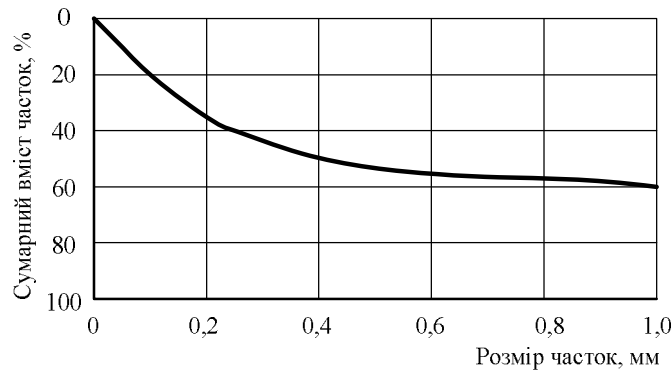


Рисунок 3.1 – Залежність сумарного вмісту частинок в осаді від їх розміру

Теплоємність осадів (кількість теплоти, яку потрібно підвести до тіла, щоб підвищити його температуру на 1 °С або 1 К) визначають за формулою

$$C = \frac{\lambda}{\alpha \cdot \rho}, \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}, \quad (3.8)$$

де λ – теплопровідність осадів, Вт/м·К;
 α – температуропровідність осадів, м²/с.

Температуропровідність осадів (величину, що характеризує швидкість вирівнювання температури) визначають за формулою

$$\alpha = \frac{b \cdot R^2}{2 \cdot K \cdot \theta}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (3.9)$$

а теплопровідність осадів (кількість енергії, яка переноситься від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих в результаті теплового руху і взаємодії мікрочасток) – за формулою

$$\lambda = b_E \cdot m \cdot \sqrt{\alpha}, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \quad (3.10)$$

де b – швидкість зміни температури поверхні, град./с;
 R – відстань між точками виміру температури, м;
 K – коефіцієнт форми тепла, що становить для необмеженої пластини – 1, для куба – 2,26, для кулі – 3;
 θ – різниця між температурою поверхні та центру зразка в даний момент часу, град.;
 m – безрозмірний коефіцієнт, визначуваний залежно від отриманих даних за довідковими матеріалами;
 b_E – постійна приладу, відрізняється для різних еталонів, Вт·с^{0,5}/(м²·°К);

– *хімічний склад осадів* надає істотний вплив на їх водовіддачу. Так луги, сполуки заліза, алюмінію, хрому, міді сприяють інтенсифікації зневоднення осаду і знижують витрати хімічних реагентів на їх коагуляцію перед зневодненням, а масла, жири, азотисті сполуки, волокнисті речовини, навпаки, несприятливо впливають на процеси зневоднення осаду. Крім того, осад має величезну бактерійну забрудненість. В ньому є всі основні форми

бактерійних забруднень (збудників шлункових, кишкових захворювань, яйця гельмінтів та ін.), що викликає небезпеку виникнення інфекцій;

- *інші показники*, серед яких теплота згорання органічної маси осадів, електропровідність й електрокінетичні властивості осадів, питома поверхня, спікливість, вихід летких речовин, хімічне недопалення, паливні властивості осаду, кінетика сушки, здібність осадів до ущільнення у відцентровому полі та за допомогою фільтрації та ін.

Видалення з осаду тільки вільної води недостатньо для того, щоб осад придбав вологість, при якій його можна транспортувати на плоских поверхнях (менше 83 %), і необхідно, як правило, видаляти ще до 30 % колоїдно-зв'язаної води.

Об'єм осаду залежить від вмісту води, тому із зменшенням вологості осаду його об'єм різко зменшується за рахунок видалення мулової води. При видаленні з осаду вільної води зміна його об'єму V відбувається залежно від його концентрації C ; визначають її за формулою

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{C_1}{C_2} = \frac{V_1 \cdot (100 - W_1)}{100 - W_2}, \text{ м}^3, \quad (3.11)$$

де W_1, W_2 – вологість осаду до і після ущільнення, %;

V_1, V_2 – вихідний і кінцевий об'єм осаду, м^3 ;

C_1, C_2 – концентрація осаду до і після ущільнення, г/м^3 .

Кількість забруднень, що знімають з решіток, залежить від типу решіток і ширини прозорів. До складу крупних забруднень входять крупні завислі та плаваючі речовини, переважно органічного походження. За даними експлуатації очисних станцій середній склад цих осадів у відсотках включає: папір – 65, ганчір'я – 25, деревину, пластик – 4, інші забруднення – 6. Для решіток з шириною прозорів 16–20 мм в середньому вона складає 8 л/рік на 1 особу. Вологість забруднень, що знімають з решіток, складає 80 %, їх об'ємна маса 750 кг/м^3 . Роздроблені забруднення, розбавлені водою в кількості 40 м^3 на 1 т, можуть бути спрямовані в стічну воду перед решітками, але частіше забруднення з решіток направляють на звалища. Переробка цих осадів може здійснюватися в метантенках, на піролізних установках разом з іншими осадами або їх спрямовують на компостування для отримання добрива разом із сміттям.

Осад, що затримують в піскоуловлювачах в кількості 0,02 л/доб. на 1 особу, складають в основному мінеральні частинки. У їх склад зазвичай входять пісок, уламки окремих мінералів, цеглина, вугілля, бите скло і тому подібне. Такий осад має зольність від 70 до 90 %, вологість близько 60 %, об'ємну масу 1500 кг/м^3 . Далі цей осад прямує на піскові площадки або до накопичувачів.

Плаваючі домішки, кількість яких в середньому складає 2 л/рік на 1 особу, мають при вологості 60 % щільність $0,6 \text{ т/м}^3$. Допускається їх обробка спільно з осадам з первинних відстійників.

Сирий осад з первинних відстійників є драглистою суспензією сірого кольору з кислуватим запахом і відрізняється великою неоднорідністю складу,

що обумовлене різноманітністю умов експлуатації очисних споруд і каналізованого об'єкту. В осаді знаходяться частинки з розмірами 5-10 мм і менше 1 мкм. Внаслідок великої кількості органічних речовин (до 60-70 %) сирий осад швидко загниває і набуває темно-сірого або чорного кольору і видає неприємний кислий запах. Також осад може містити сполуки заліза, алюмінію, кремнію, кальцію, магнію, калія та ін.; токсичні й канцерогенні речовини, зокрема солі важких металів, ПАР та інші сполуки, залежно від наявності в господарчо-побутових стічних водах домішок виробничих стоків. Середня вологість осаду дорівнює 95 % при самопливному видаленні та 93,8 % при видаленні плунжерними насосами.

Кількість осаду з первинних відстійників залежить від ефекту освітлення стічних вод (E), а кількість надлишкового активного мула визначають за формулою

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.12)$$

де C_{cdp} – концентрація завислих речовин в стічних водах, що поступають в аеротенк, мг/дм³;

L_{en} – БПК стічної води, що поступає в аеротенк, мг/дм³;

K_g – коефіцієнт приросту активного мулу, $K_g = 0,3$.

Активний мул є суспензією, що містить аморфні пластівці; він включає аеробні бактерії та прості мікроорганізми з дрібними забрудненнями із стічних вод. Структура активного мула представляє пластівчасту масу бурого кольору. У свіжому вигляді активний мул майже не має запаху або пахне землею, але, загниваючи, видає специфічний гнильний запах. Розміри частинок активного мула не перевищують 3 мм, а основна маса частинок (98 %) має розмір менше 1 мм. Надлишковий активний мул і надлишкову біоплівку складає в основному органічна речовина, кількість якої залежно від режиму роботи споруд коливається від 65 % для аеротенків повного окислення до 75 % для високонавантажуваних споруд. При зберіганні й ущільненні такий осад дуже швидко загниває. Вологість активного мула, вивантажуваного з вторинних відстійників після аеротенків, дорівнює 99,2-99,7 %, а після біофільтрів – 96–96,5 %. Після ущільнення у вертикальних відстійниках середня вологість дорівнює 98 %, а в мулозгущувачах радіального типу – 97 %.

Загальна кількість суміші осаду з первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мула орієнтовно складає 0,5–1 % від об'єму очищуваних стічних вод.

Шлами, що затримують відстійники або інші споруди після фізико-хімічного очищення, виділяються в результаті локального очищення або доочистки промислових стічних вод із застосуванням реагентної обробки, фільтрування, електролізу, адсорбції, іонного обміну, зворотного осмосу, екстракції та інших методів.

Методи обробки, об'єми, склад і властивості осаду залежать від виду, кількості й складу очищуваних стічних вод (побутових, виробничих, дощових).

Як вказано вище (таблиця 1.1), залежно від подальшої обробки осад може бути таких видів:

- згущений або ущільнений активний мул (у мулозгущувачах);
- зброджений в анаеробних умовах (у освітлювачах-перегнивачах, двоярусних відстійниках, метантенках);
- стабілізований в аеробних умовах (активний мул або його суміш з осадом з первинних відстійників);
- зневоднений на механічних апаратах;
- підсушений на мулових площадках;
- термічно висушений в різних сушарках.

Зброджений осад має одноріднішу структуру та є суспензією чорного або темно-сірого кольору. Вологість осаду, вивантажуваного з метантенков, залежить від співвідношення кількості осаду й активного мула за сухою речовиною та розпаду беззольної речовини і в середньому складає 97 %. Тверду фазу осаду складають в основному органічні речовини, які швидко загнивають і виділяють неприємний запах; в той же час осад містить і цінні речовини – азот, фосфор, калій; важкі метали (хром, мідь, цинк та ін.) утрудняють утилізацію осаду.

Структура осаду, зброженого в метантенках, двоярусних відстійниках та інших спорудах анаеробного зброджування, дрібна і однорідна, колір – майже чорний або темно-сірий. Осади відрізняються високою текучістю, виділяють запах сургучу або асфальту. У метантенках розпад осадів супроводжується виділенням великої кількості газу – метану, дуже цінного для використання.

Ступінь розпаду органічної речовини при аеробній стабілізації значно менша, ніж при анаеробних процесах, але частина, що залишилася, достатньо стабільна. Після аеробної стабілізації осади ущільнюються у відстійниках за 5–15 год. до вологості 96–98 %. При стабілізації бактерії колі гинуть на 95 %, але яйця гельмінтів не зникають, тому осади після аеробної стабілізації потребують знезараження.

Важливим показником, що характеризує здібність осаду до водовіддачі, є *питомий опір осаду фільтрації*.

Питомий опір осаду фільтрації – опір одиниці маси твердої фази, що відкладається на одиниці площі фільтру при фільтруванні під постійним тиском суспензії, в'язкість рідкої фази якої дорівнює 1,0.

Згідно сучасній теорії фільтрування суспензій, питомий опір осаду, що характеризує опір фільтрації та фільтрованість (водовіддачу) осадів, визначають за формулою

$$r' = \frac{2 \cdot p \cdot F^2}{\eta \cdot C'} \cdot b, \text{ см/г}, \quad (3.13)$$

де p – тиск (вакуум), при якому відбувається фільтрування;

F – площа фільтруючої поверхні;

η – в'язкість фільтрату;

C' – маса твердої фази кеку, що відкладається на фільтрі при отриманні одиниці об'єму фільтрату;

b – параметр, отримуваний дослідним шляхом:

$$b = \frac{\tau}{V^2}, \quad (3.14)$$

де τ – час фільтрації;

V – об'єм отримуваного фільтрату.

Чим вище питомий опір, тим осад гірше фільтрується. Активний мул має значно більший опір фільтрації, ніж сирий осад, а зброджений осад ще вищий. Для зниження питомого опору фільтрації осад перед зневодненням піддають попередній обробці: промивці водою, обробці хімічними реагентами, заморожуванню з подальшим відтаванням, тепловій обробці.

Таким чином, найбільшу кількість важковидальної води містить ущільнений активний мул, а найменшу – осад первинних відстійників; зброджена суміш осадів займає проміжне положення між ними.

Неущільнений активний мул має кращу вологовіддачу порівняно з ущільненим, тому що при збільшенні концентрації активного мула (зменшенні вологості) частина вільної води переходить в колоїдно-зв'язану. Ущільнений активний мул містить також і найбільшу, порівняно з іншими видами осадів, кількість твердих частинок малого розміру. Дрібнодисперсні фракції твердої фази містять більшу кількість зв'язаної води, а крупніші частинки – меншу.

Обробка вивчених даних. У лабораторному журналі дати визначення основним характеристикам осаду та узагальнити властивості осадів залежно від місця їх утворення.

Лабораторна робота № 2.

Визначення основних властивостей осаду стічних вод

Осади, які утворюються в процесі очистки міських стічних вод, характеризуються різним складом і властивостями і вимагають вивчення для глибокого розуміння процесів їх обробки та утилізації. Основними властивостями осадів, які вивчаються при виконанні даної лабораторної роботи, є: вологість; зольність; щільність; концентрація завислих речовин; питомий опір.

Мета лабораторної роботи. Визначення основних властивостей осадів стічних вод.

Необхідне обладнання:

ємність для випробуваного осаду; аналітичні ваги; технічні ваги, ексікатор; тиглі – 2 шт; порцелянові чашки – 2 шт.; термошкаф; муфельна піч; щипці; мірні циліндри 100–200 мл – 2 шт.

Методика проведення лабораторної роботи.

1) Визначення вологості осаду.

Баланс маси вологого осаду може бути представлений у вигляді

$$M_{\text{во}} = M_{\text{ср}} + M_{\text{вод}}, \text{ кг}, \quad (3.15)$$

де $M_{\text{во}}$ – маса вологого осаду, кг;

$M_{\text{ср}}$ – маса абсолютно сухої речовини осаду, кг;

$M_{\text{вод}}$ – маса води, кг.

Вологість осаду $W, \%$, характеризується відношенням маси води до загальної маси вологого осаду

$$W = \frac{M_{\text{вод}}}{M_{\text{во}}} \quad (3.16)$$

Визначення вологості осаду проводять таким чином. Попередньо прожарюють порцелянову чашку, охолоджують і зважують з точністю до 0,01 м. Наливають в чашку добре перемішаний осад масою 100 г, зважування осаду з чашею роблять на технічних вагах. Чашку з осадом висушують на водяній бані насуху, а потім ставлять у сушильну шафу і досушують при температурі 105 °С до постійної маси. Потім охолоджують в ексікаторі та зважують. Початкову вологість вихідного осаду $W_{\text{в}}, \%$, визначають за формулою

$$W_{\text{в}} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \right) \cdot 100, \%, \quad (3.17)$$

де m_1 – маса чашки з вологим осадом, г;

m_2 – маса осаду з висушеним осадом, г;

m_3 – маса порожньої порцелянової чашки, м

2) Визначення зольності осаду.

Зольність характеризує вміст в осаді мінеральних домішок. Для визначення зольності осаду використовують навішування висушеного осаду з попереднього дослідження.

Беруть фарфоровий тигель, який попередньо прожарюють і зважують до постійної маси. Висушений осад поміщають в тигель, тигель з осадом поміщають в муфельну піч і на протязі 20 хвилин прожарюють при температурі 800 °С. Потім тигель охолоджують в ексікаторі та зважують на аналітичних вагах.

Зольність осаду, %, визначають за формулою

$$Z = \left(\frac{m_4 - m_5}{m_6 - m_5} \right) \cdot 100, \% \quad (3.18)$$

де m_4 – маса тигля з прожареним осадом, г;

m_5 – маса порожнього тигля, г;

m_6 – маса тигля з навішуванням висушеного осаду, м.

3) Визначення щільності осаду.

Щільність осаду характеризує масу одиниці його об'єму і виражається відношенням маси всіх складових компонентів осаду до його об'єму, тобто

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.19)$$

де m – маса осаду з усіма включеннями, кг;
 V – об'єм осаду, м.

4) Визначення концентрації осаду.

Суспензії, до яких належить і осад стічних вод, характеризується концентрацією знаходяться в них речовин. Кількість твердих частинок сухої або розчиненої речовини, що знаходяться в 1 м осаду, називається його концентрацією, кг/м^3 , і визначається за формулою

$$C = \frac{100 - W}{100} \cdot \rho, \text{ кг/м}^3. \quad (3.20)$$

Обробка дослідних даних. Отримані дослідні дані заносять в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати лабораторних досліджень

Щільність, г/см ³					Вологість, %				Концентрація, C, кг/м ³	Зольність, 3, %
маса, г			об'єм осаду в циліндрі, V, см ³	ρ, г/см ³	маса чашки, г			W _и , %		
порожнього циліндру	циліндру з осадом	осаду, m			з вологим осадом, m ₁	порожньої, m ₃	з сухим осадом, m ₂			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Лабораторна робота № 3. Визначення питомого опору осаду

Питомий опір осаду є узагальненим показником його фільтрованості, тобто здатності до зневоднення. Питомий опір осаду являє собою опір твердої фази, яка відкладається на одиниці площі фільтра при фільтруванні під постійним тиском суспензії і в'язкою фази, що дорівнює одиниці.

Мета лабораторної роботи. Визначення питомого опору органомінерального осаду стічних вод.

Питомий опір осаду, см/г , визначають дослідним шляхом і обчислюють за формулою

$$r = \left(\frac{2 \cdot P \cdot F^2}{n \cdot C} \right) \cdot b, \text{ см / г}, \quad (3.21)$$

де P – вакуум при якому відбувається фільтрація;
 F – площа фільтрувальної поверхні,
 n – в'язкість фільтрату;

C – концентрація осаду;
 b – параметр, що залежить від умов досліду

$$b = \frac{t/V}{V}, \quad (3.22)$$

де t – тривалість фільтрації;
 V – обсяг утворюваного фільтрату.

Зазвичай питомий опір осаду визначається при постійних значеннях P , n , F . Якщо позначити $K = 2 \cdot P \cdot F^2 / n$, формула прийме вигляд

$$r = K \cdot \left(\frac{b}{C} \right). \quad (3.23)$$

Таким чином, для визначення питомого опору осаду необхідно в лабораторних умовах визначити параметри b , C .

Необхідне обладнання:

лабораторний стенд для вимірювання питомого опору фільтрації; термошкаф; аналітичні ваги; технічні ваги; ємність для випробуваного осаду; порцелянова чашка 100 мл – 1 шт.; колба кругла 200 мл – 5 шт.; паличка скляна – 5 шт.; паперові фільтри; мірний циліндр – 1 шт.

Опис лабораторного стенда. Лабораторний стенд для визначення питомого опору осадів (рисунок 3.2) включає воронку зі знімною дірчастою решіткою 2, мірний циліндр 1 на 200–250 см³, призначений для збору та заміру фільтрату, ємність 4 для збору фільтрату, ресивер 6 місткістю 0,5–1,0 л і вакуум-насос 8. Для виміру вакууму служить вакуумметр 5. Всі елементи установки з'єднані між собою вакуумними шлангами 7, забезпеченими запірними кранами 3. Воронка і знімна дірчаста решітка виготовлені з оргскла. Решітка служить опорою для фільтруючої тканини і повинна мати живий перетин, рівне живому перетину опорної поверхні виробничого вакуум-фільтра, робота якого моделюється.

Методика проведення лабораторної роботи. У заздалегідь зважений циліндр виливають призначений для аналізу осад і визначають його обсяг, звичайно беруть 200 см³ осаду. Визначають масу осаду, як різниця маси циліндра з осадом і маси порожнього циліндра. Знаючи масу осаду і його обсяг, визначають щільність ρ , кг/м³. Одночасно визначають вологість осаду.

При проведенні досліду по визначенню питомої опору осаду фільтрувальна тканина не повинна набухати, тому використовують фільтрувальну тканину, яка вже була у вжитку.

Спочатку тканину змочують, наливаючи в воронку 10–15 см чистої води, і шляхом короткочасного пуску вакуум-насоса її просушують.

Осад, призначений для аналізу, ретельно перемішують і виливають у воронку 2. Кран 3 закривають. Включають вакуум-насос, встановлюють заданий вакуум, контролюють його величину по вакуумметрам, і відкривають кран 3. При цьому відбувається часткове падіння вакууму, який потім доводять до заданої величини 0,053–0,067 МПа (400–500 мм рт. ст.). Із встановленням заданого вакууму включають секундомір і записують відлік початкового об'єму

фільтрату V_0 в циліндрі 1. Потім дослід проводять при постійному вакуумі, що досягається шляхом регулювання (часткового відкриття або закриття) крана у вакуумметра.

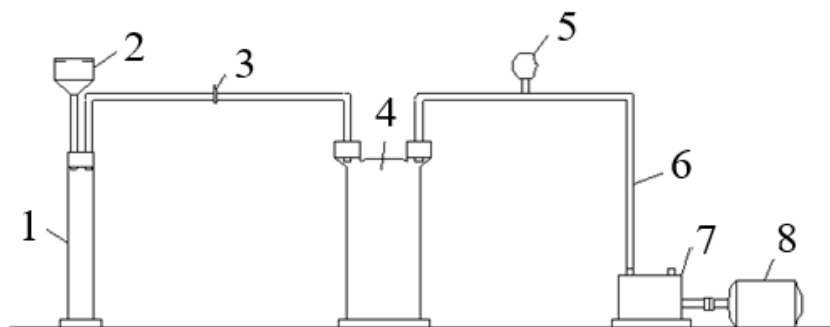


Рисунок 3.2 – Лабораторний стенд для визначення питомої опору осаду:
1 – мірний циліндр; 2 – воронка; 3 – запірний кран; 4 – ємність для збору фільтрату; 5 – вакуумметр; 6 – вакуумний шланг; 7 – вакуум-насос;
8 – електродвигун

На початку досліду відлік роблять через 10–15 с, а з уповільненням швидкості фільтрації проміжок часу між відліками збільшують до 1–2 хв. Досвід триває не більше 15–20 хв. З припиненням надходження фільтрату або з появою тріщин в осаді вимикають секундомір і вакуум-насос, записують обсяг фільтрату і час закінчення досвіду.

Обробка дослідних даних. Всі отримані відліки, виконані для визначення параметра b , заносять в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати лабораторних досліджень

t, с	Об'єм фільтрату $V_1, \text{см}^3$	$V_1 =$ $=V-V_0$	t/V_1	t, с	Об'єм фільтрату $V_1, \text{см}^3$	$V_1 =$ $=V-V_0$	t/V_1
1	2	3	4	5	6	7	8
0				150			
30				180			
60				210			
90				240			
120				300			

Визначають значення параметрів b виходячи з даних при часу фільтрації 30, 180 300 с (b_1, b_2, b_3), знаходять середньоарифметичне значення

$$b_{\text{сеп}} = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3}. \quad (3.24)$$

При $P = 0,067 \cdot 10^6$ Па (500 мм рт. ст.), $F = 28,3 \text{ см}^2$ і $n = 0,001$ Па·с (0,01 пз), постійна $K = 10,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^4/\text{с}$.

Визначають концентрацію осаду при вологості вихідного осаду W_B і щільності $\rho \approx 1020 \text{ кг/м}^3$

$$C = \frac{100 - W_B}{100 \cdot \rho}, \text{ г/см}^3. \quad (3.25)$$

Далі визначають питомий опір осаду за формулою

$$r = K \cdot \left(\frac{b}{C} \right), \text{ см / г}. \quad (3.26)$$

Лабораторна робота № 4.

Визначення кількості осадів стічних вод та їх вологості

Мета лабораторної роботи. Опанування методиками визначення кількості осадів стічних вод та їх вологості.

Кількість забруднень, затримуваних решітками

$$W_{\text{сут.}}^p = \frac{N_{\text{пр}} \cdot q_{\text{отбр}}}{365 \cdot 1000}, \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (3.27)$$

де $q_{\text{отбр}}$ – питома витрата забруднень залежно від ширини прозорів решітки, л/(рік·чол);

$N_{\text{пр}}$ – наведена кількість жителів, чол.

Вологість забруднень слід визначати за паспортними даними виготовлювачів обладнання. Можна приймати вологість забруднень до зневоднення – 90 %, після – 70 % (до 50 %).

Добовий об'єм осаду, затримованого піскоуловлювачами,

$$W_{\text{доб.}}^п = \frac{N_{\text{пр}} \cdot q_{\text{ос}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (3.28)$$

де $q_{\text{ос}}$ – питома витрата піску, накопичуваного в піскоуловлювачах, л/доб.чол., залежно від типу піскоуловлювача.

Концентрацію забруднень у побутових стічних водах визначають таким чином:

$$C_i^{\text{поб}} = \frac{C_i \cdot 1000}{q_{\text{макс}}^{\text{доб}}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.29)$$

де C_i – кількість забруднюючих речовин на одного мешканця, г/доб.;

$q_{\text{макс}}^{\text{доб}}$ – норма водопостачання у населеному пункті, л/доб.чол.

Якщо на очисні споруди надходить суміш побутових та виробничих стічних вод, загальна витрата стічних вод буде дорівнювати

$$Q_{\text{mid}} = Q_{\text{mid}}^{\text{поб}} + Q_{\text{mid}}^{\text{пп}}, \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (3.30)$$

Концентрація забруднень суміші стічних вод складе

$$C_i = \frac{(C_i^{\text{поб}} \cdot Q_{\text{mid}}^{\text{поб}} + C_i^{\text{nn}} \cdot Q_{\text{mid}}^{\text{nn}})}{Q_{\text{mid}}}, \text{ мг/дм}^3. \quad (3.31)$$

Кількість осаду, затримуваного при відстоюванні за добу у первинних відстійниках, за сухою речовиною

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{ен}} \cdot E \cdot K}{10^6} \cdot Q_{\text{mid}}, \text{ т/доб.}, \quad (3.32)$$

де K – коефіцієнт, який враховує збільшення об'єму осаду за рахунок крупних фракцій зависі, які не вловлюються при відборі проб; $K=1,1-1,2$.

Витрата надлишкового активного мула (за сухою речовиною) дорівнює

$$M_{\text{сух}} = \left[\frac{0,8 \cdot C_{\text{ен}} \cdot (1 - E) + \alpha \cdot (L_a - b)}{10^6} \right] \cdot Q_{\text{mid}}, \text{ т/доб.}, \quad (3.33)$$

де α – коефіцієнт приросту активного мула; $\alpha=0,3-0,5$;

L_a – БПК_{повн} стічних вод після освітлення.

Витрата осаду та надлишкового активного мула за беззольною речовиною

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - P_g) \cdot (100 - S_{\text{mud}})}{100 \cdot 100}, \text{ т/доб.}; \quad (3.34)$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{сух}} \cdot (100 - P'_g) \cdot (100 - S_{a \text{ mud}})}{100 \cdot 100}, \text{ т/доб.}, \quad (3.35)$$

де P_g, P'_g – гігроскопічна вологість сирого осаду та надлишкового активного мулу; приймають 5–6 %;

$S_{\text{mud}}, S_{a \text{ mud}}$ – зольність сухої речовини осаду та мулу; $S_{\text{mud}}=27\%$, $S_{a \text{ mud}}=25\%$.

Об'єм сирого осаду та надлишкового мулу

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot Q_{\text{сух}}}{(100 - P_{\text{ос}}) \cdot \rho_{\text{ос}}}, \text{ м}^3/\text{доб.}; \quad (3.36)$$

$$V_{\text{мул}} = \frac{100 \cdot M_{\text{сух}}}{(100 - P_{\text{мул}}) \cdot \rho_{a \text{ mud}}}, \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (3.37)$$

де $P_{\text{ос}}$ – вологість сирого осаду, %; приймають 93-95 %;

$P_{\text{мул}}$ – вологість активного мулу, %; приймають для неущільненого мулу 99,2–99,7 %, для ущільненого – 97–98 %;

$\rho_{\text{ос}}, \rho_{a \text{ mud}}$ – щільність осаду та активного мулу, т/м³; приймають 1 т/м³.

Загальна витрата сирого осаду та надлишкового активного мулу:
за сухою речовиною

$$V_{\text{сух}} = Q_{\text{сух}} + M_{\text{сух}}, \text{ т/доб.}; \quad (3.38)$$

за сухою беззольною речовиною

$$V_{\text{без}} = Q_{\text{без}} + M_{\text{без}}, \text{ т/доб.}; \quad (3.39)$$

за витратою суміші фактичної вологості

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{мул}}, \text{ м}^3 / \text{доб.} \quad (3.40)$$

Середня вологість суміші

$$P_{\text{сер}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{B_{\text{сух}}}{V_{\text{заг}}} \right), \%. \quad (3.41)$$

Середня зольність

$$Z_{\text{сум}} = 100 \cdot \left[1 - \frac{B_{\text{без}}}{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - P_g) / 100 + M_{\text{сух}} \cdot (100 - P'_g) / 100} \right], \%. \quad (3.42)$$

Обробка вивчених даних. Провести розрахунок кількості утворюваних осадів стічних вод на очисній станції. У лабораторному журналі показати схему утворення осадів з основними визначеними параметрами.

Лабораторна робота № 5. Знезараження осадів стічних вод

Мета лабораторної роботи. Провести дослідження методів знезараження осадів.

Осади міських стічних вод містять значну кількість мікроорганізмів (у тому числі і патогенних), вірусів, яєць гельмінтів, сальмонелл, і тому є небезпечними в санітарному та інфекційному відношенні. У зв'язку з цим осади повинні піддаватися *знезараженню*. Ступінь знезараження осадів контролюють за вмістом в них яєць гельмінтів, патогенних і умовно-патогенних бактерій, сальмонелл, ентеробактерій і кишкової палички. При необхідності визначають вміст в осадах збудників різних захворювань.

При використанні осадів як добрива в них не повинно бути сальмонелл і життєздатних яєць гельмінтів, число кишкових паличок не повинно перевищувати 104, а ентерококів – 103 кл/л.

Осади можуть знезаражувати в рідкому вигляді, після підсушування на мулових площадках і після механічного зневоднення.

Для знезараження і знешкодження осадів можуть використовувати *термічні* (прогрівання, сушка, спалювання), *біотермічні* (компостування), *хімічні* (обробка хімічними речовинами) і *біологічні* (знищення мікроорганізмів простішими, грибами й рослинами ґрунту) методи, а також різноманітні види *фізичної дії*: радіація, струм високої частоти, ультразвук, ультрафіолетове опромінювання. У наш час на практиці використовують в основному термічні, біохімічні й хімічні методи знезараження осадів.

Знезараження рідких осадів нагріванням до температури 100 °С при експозиції в декілька хвилин забезпечує загибель яєць гельмінтів і відмирання патогенних мікроорганізмів. При температурах 52–56 °С впродовж 5 хв. гине багато патогенних бактерій, при температурі – 62–74 °С і тривалісті експозиції близько 30 хв. відмирають віруси. Знезараження й гельмінтизацію сирих,

мезофільно зброджених і аеробно стабілізованих осадів слід здійснювати шляхом їх прогрівання до 60 °С не менше 20 хв. Проте, як показали результати досліджень, для повного знешкодження патогенних бактерій і яєць гельмінтів при температурі 60 °С тривалість експозиції повинна складати не менше 4 годин. Знешкодження осаду при тривалості експозиції 20 хв. забезпечується при температурах більше 75 °С.

Найчастіше термічну стабілізацію осадів здійснюють в трубчастих теплообмінниках, використовуючи як теплоносії гарячі газу або пару, або в пристроях типу апаратів поглибленого горіння. Проте слід враховувати, що стабілізація втрачає сенс, якщо потім осад довго не утилізувався, оскільки в ньому можуть повторно розвиватися мікроорганізми, небезпечні в санітарному відношенні.

Хімічне знезараження осадів здійснюють у разі подальшого використання їх в сільському господарстві як органічне добриво. Для хімічного знезараження осадів використовують аміак, тіазон, формальдегід і сечовину. Залишковий вміст в осадах названих речовин запобігає реактивації патогенних мікроорганізмів і підтримує стабільність осадів.

За кордоном великого поширення набула обробка осадів гашеним і негашеним вапном, внаслідок чого досягається їх стабілізація і знезараження, поліпшується водовіддаюча здатність. Введення гашеного вапна в осад створює лужне середовище, що приводить до припинення процесів гниття і до загибелі яєць гельмінтів. Тривалість витримки осаду після обробки гашеним вапном має бути понад 2 доби при початковому значенні рН близько 12,5. Ефективнішим є використання негашеного вапна, при змішенні якого з осадом температура його зростає до 55–70 °С за рахунок екзотермічних реакцій.

Радіаційний спосіб знезараження осаду полягає в його обробці прискореними електронами і гамма-випромінюванням дозою в 1 Мрад і вище, що повністю знищує патогенні бактерії та яйця гельмінтів. Після такої обробки осад можна без перешкод використовувати як добриво. При опромінюванні необхідно створювати рівномірний шар осаду завтовшки не вище проникаючої здатності електронів.

Дегельмінтизацію осадів, тобто знищення яєць гельмінтів, здійснюють як в рідких, так і в механічно зневоднених осадах. Найпростіше дегельмінтизують рідкі осади: у них вводять гостру пару і перемішують всю масу осаду для прогрівання до температури 60–65 °С.

Для гельмінтизації механічно зневоднених осадів застосовують установку Академії комунального господарства (рисунок 3.3). Вона складається з пластинчастого конвеєра з приймальним бункером і газових пальників інфрачервоного випромінювання. В середині приймального бункера розташовані спеціальні рамки, які формують на конвеєрі шар осаду завтовшки 10–25 мм. На конвеєрі осад прогрівають до 60 °С. Такі установки рекомендують використовувати на станціях пропускною спроможністю до 20-30 тис. м³/добу стічних вод.

Біотермічна обробка (компостування) осадів стічних вод. Ефективність біотермічного процесу залежить від фізико-хімічного складу осадів, умов

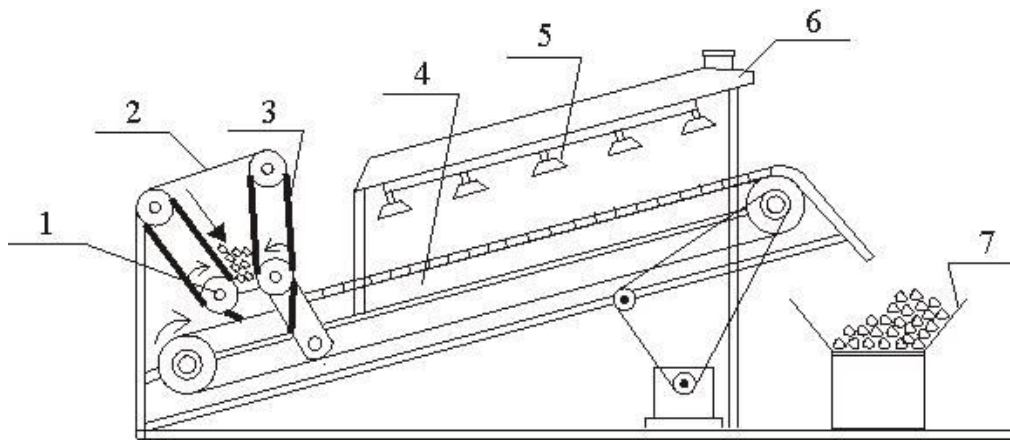


Рисунок 3.3 – Схема установки для дегельмінтизації осадів:

1 – регулювальні вали; 2 – приймальний бункер осаду; 3 – рухомі стінки бункера; 4 – металева стрічка конвеєра; 5 – газові пальники інфрачервоного випромінювання; 6 – витяжна парасолька; 7 – конвеєр обробленого осаду

осадів, умов життєдіяльності мікроорганізмів, типу наповнювачів, умов аерації, гомогенізації та тепломасообміну. Розроблені технологічні схеми біотермічної обробки механічно зневоднених або підсушених на мулових площадках осадів стічних вод в штабелях з наповнювачами, в штабелях спільно з твердими побутовими відходами, в біобарабанах на сміттєперероблюваних заводах, в траншеях із перемішуванням, гомогенізацією і насиченням повітрям. В процесі біотермічного розкладання органічних сполук осадів під дією мікроорганізмів спостерігається перехід від мезофільного до термофільного режиму, у зв'язку з чим зростають швидкості біотермічних реакцій.

Процес компостування складається з двох фаз. Перша фаза продовжується протягом 1–3 тижнів і супроводжується інтенсивним розвитком мікроорганізмів, а температура осаду підвищується до 50–80 °С. При цьому відбувається знезараження осаду і скорочення його маси.

Друга фаза – дозрівання компосту – триваліша. Вона триває від двох тижнів до 3–6 міс. і супроводжується розвитком простих і членистоногих організмів, пониженням температури до 40 °С і нижче. Підвищення температури навколишнього повітря інтенсифікує процес розкладання органічних речовин.

Для процесу компостування важливим чинником є надходження в компостовану масу осаду кисню повітря. Стехіометрична потреба кисню для здійснення процесу в середньому складає 1–1,5 кг O₂ на 1 кг органічної речовини. Така кількість повітря необхідна для початку процесу в перші 3–6 діб і досягнення температури, достатньої для знезараження. У подальші періоди потреба в повітрі визначається також і необхідністю видалення з осаду вологи.

Для рівномірного прогрівання і забезпечення мікроорганізмів повітрям в період компостування потрібне 2–3-разове перемішування компостованої маси. Залежно від складу осаду, тривалості та умов компостування кількість органічних речовин скорочується на 25–40 %.

При здійсненні біотермічного процесу в аеробних умовах компостування осаду здійснюють з наповнювачами: твердими побутовими відходами, тирсою,

листям, корою, сухим осадом стічних вод. Штабелі компосту мають висоту 1,5–3 м при природній і до 5 м при примусовій аерації (рисунок 3.4). Для формування штабелів використовують механізми – крани, бульдозери, екскаватори (рисунок 3.5). Для аерації в основу укладають перфоровані труби діаметром 100–200 мм з отворами діаметром 5–10 мм. Витрата повітря складає 10–25 м³/год. на 1 т органічної речовини осаду. Для збору поверхневого стоку по контуру траншеї влаштовують лотки.

Компостовану масу необхідно вкривати яким-небудь матеріалом для теплоізоляції та запобігання розмноженню мух. Тривалість процесу компостування в штабелях складає 3–4 місяці. Компост отримує вигляд сипкого матеріалу. Він містить необхідні елементи для зростання й розвитку рослин, речовини, що підвищують родючість ґрунтів, корисну мікрофлору.

При біотермічній обробці суміші осаду стічних вод і твердих побутових відходів останні перед компостуванням піддають сортуванню і подрібненню, з них видаляють чорні й кольорові метали. Якщо компостування суміші твердих побутових відходів і осаду здійснюють на сміттєперероблювальних заводах, то в цьому випадку можуть використовувати спеціальні апарати – ферментори, біобарабани, а також штабелі з механізацією всіх робіт, пов'язаних із експлуатацією штабелів.

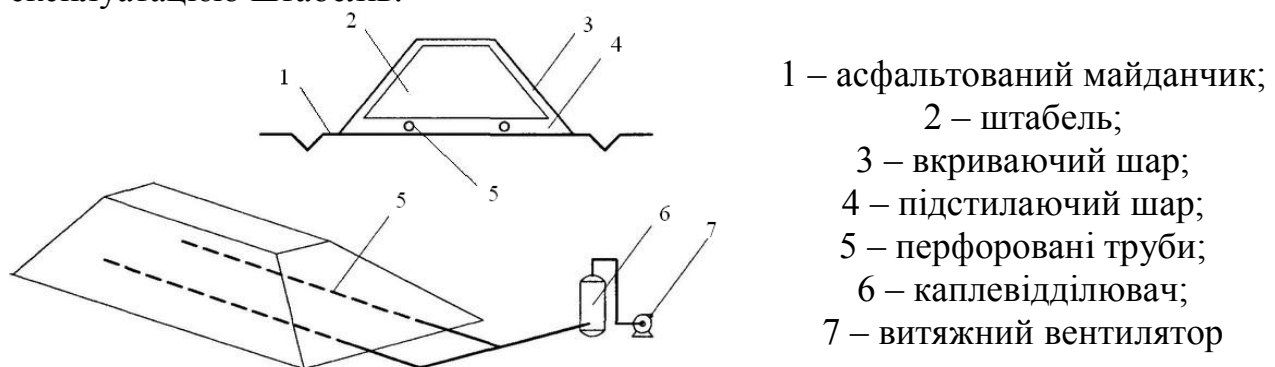


Рисунок 3.4 – Схема статичної купи компостування з примусовою аерацією

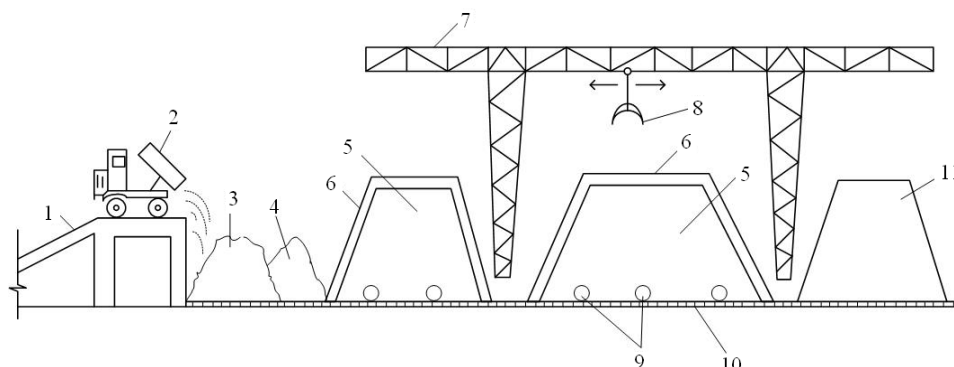


Рисунок 3.5 – Схема біотермічного знешкодження і переробки осадів стічних вод і твердих побутових відходів:

- 1 – пандус; 2 – самоскид; 3 – тверді відходи; 4 – осади стічних вод;
- 5 – штабелі перероблюваної суміші; 6 – покриття готовим компостом або ґрунтом; 7 – кран; 8 – грейфер; 9 – перфоровані повітропроводи;
- 10 – асфальтове покриття; 11 – штабель з готовим компостом

Основні технологічні операції процесу компостування приведені на рисунку 3.6

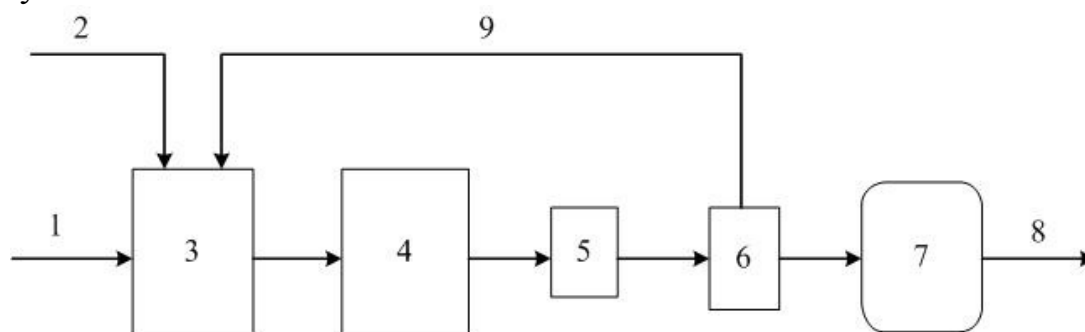


Рисунок 3.6 – Технологічна схема процесу аеробного компостування осаду:
 1 – подача осаду; 2 – внесення добавок; 3 – перемішування; 4 – компостування (з продуванням повітрям); 5 – стабілізація (без продування повітря); 6 – просіювання; 7 – консервація (зберігання); 8 – готовий компост; 9 – добавка компосту

В результаті проведення процесу біотермічної обробки отримують компост у вигляді сипкого матеріалу вологістю 40–50 %. Готовий компост не має запаху, не загниває і є хорошим добривом.

На крупних станціях аерації доцільне застосування термічної сушки механічно зневоднених осадів, що дозволяє скоротити транспортні витрати і отримати добриво з осадів у вигляді сипких матеріалів.

Для скорочення паливно-енергетичних витрат на станціях аерації пропускною спроможністю до 20 тис. м³/доб. доцільно застосування камер дегельмінтизації, до 50 тис. м³/доб. – методів хімічного знезараження. У випадках, коли осад не підлягає утилізації як добриво, може застосовуватися спалювання з використанням отриманого тепла. Істотного зниження паливно-енергетичних і транспортних витрат досягають при використанні методів, що мають комплексність у вирішенні завдань обробки осадів, наприклад, термофільне зброджування (стабілізація та знезараження), термосушка (зневоднення та знезараження), біотермічна обробка (стабілізація, зневоднення та знезараження) та ін.

Обробка вивчених даних. Виконати аналіз методів знезараження осадів залежно від їх складу, кількості, можливості подальшого використання.

Лабораторна робота № 6.

Визначення кількості осадів водопровідних очисних споруд та їх вологості

Мета лабораторної роботи. Опанування методиками визначення кількості осадів водопровідних очисних споруд.

Об'єм осаду, утворюваного у відстійниках визначають за формулою

$$V_{\text{відст}} = \frac{(C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) \cdot Q_{\text{повн}}}{C_{\text{ос}}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.43)$$

де C_{oc} – концентрація осаду у відстійниках станцій водопідготовки, $г/м^3$;
 $C_{вих}$ – концентрація завислих речовин на виході з відстійника
 ($8-12 г/м^3$);
 $C_{вх}$ – концентрація завислих речовин на вході у відстійник, $г/м^3$

$$C_{вх} = C_{вих} + K \cdot D_K + 0,25 \cdot Z + B_B, \text{ г/м}^3, \quad (3.44)$$

де K – коефіцієнт, який приймають для очищеного сульфату алюмінію – $0,5$, для хлорного заліза – $0,7$;
 D_K – доза коагулянту, $г/м^3$;
 Z – забарвленість води, град. пкш;
 B_B – вміст нерозчинених речовин у вапні, $г/м^3$

$$B_B = \frac{D_B}{K_B} - D_B, \text{ г/м}^3, \quad (3.45)$$

де D_B – доза вапна, $г/м^3$;
 K_B – вміст CaO у вапні.

Добовий об'єм промивної води фільтрів

$$Q_{пр} = i \cdot t \cdot F \cdot n, \text{ м}^3, \quad (3.46)$$

де i – інтенсивність промивання, $л/с \cdot м^2$;
 t – тривалість промивання, год.;
 n – кількість промивань за добу;
 F – площа фільтрів, $м^2$.

Середня концентрація забруднень у промивній воді фільтрів

$$C_{пр} = \frac{(C_{вх}^{\phi} - C_{вих}^{\phi}) \cdot Q_{повн}}{Q_{пр}}, \text{ г/м}^3, \quad (3.47)$$

де $C_{вх}^{\phi}$ – концентрація завислих речовин у воді на вході у фільтр після відстійника, $г/м^3$;

$C_{вих}^{\phi}$ – концентрація завислих речовин у фільтрованій воді.

Для визначення об'єму осаду $V_{рез}$, який утворюється при відстоюванні промивної води фільтрів у резервуарі-усереднювачі, слід використовувати формулу (3.43).

Обробка вивчених даних. Провести розрахунок кількості утворюваних осадів на водопровідній очисній станції. У лабораторному журналі показати схему утворення осадів з основними визначеними параметрами.

Лабораторна робота № 7. Ущільнення осадів водопровідних очисних станцій

Мета лабораторної роботи. Вивчення методів ущільнення осадів водопровідних очисних станцій та аналіз застосовуваного обладнання.

Основним технологічним показником водопровідних осадів, що визначає вибір способу їх обробки, є їх водовіддаюча здатність, яку характеризують питомим опором фільтрації. Цей показник служить основним критерієм при класифікації осадів за характерними групами вододжерел з метою визначення способів їх підготовки і зневоднення.

У *першу групу* виділені осади, що мають найбільш високий питомий опір фільтрації $(800-1600) \cdot 10^{10}$ см/г, погано віддають воду при ущільненні й зневодненні.

Сюди віднесені осади станцій, водозабори яких розташовані на водосховищах Дніпра, що характеризуються малою каламутністю води (як правило, 3–5 мг/дм³) і середньою забарвленістю (35–120 град. пкш) в період цвітіння і масового розвитку синьо-зелених водоростей.

Органічна частина таких осадів складає близько половини (58–63 %) від ваги їх сухої речовини і представлена переважно залишками водоростей. Для них характерний також підвищений (20–45 %) вміст колоїдних гідроксидів. Незначна кількість мінеральних домішок у воді та висока її забарвленість, наявність органіки і колоїдів приводять до утворення рихлих з гелевидною структурою осадів, що містять структурно затиснену воду, яка важко звільняється при звичайних традиційних методах дії.

У *другу групу* об'єднані осади річок з малим (1–50 мг/дм³) вмістом суспензії, як правило, малою (до 35 град. пкш) забарвленістю води: Південний Буг, Тетерів, Рось. Сюди ж (за величиною питомого опору фільтрації) віднесені осади дніпровських станцій: Черкаської і Світловодської. Це пояснюється тим, що в районі водозаборів вказаних станцій забарвленість дніпровської води значно знижується при розбавленні її паводковими водами, оскільки Кременчуцьке водосховище є акумулятором паводкових вод цього району.

У осадах спостерігається приблизно рівне співвідношення крупних і дрібних фракцій, кількість органічних речовин складає 35–45 %. Вміст колоїдних гідроксидів від 10 до 26 %. Величина питомого опору фільтрації таких осадів складає $(350-900) \cdot 10^{10}$ см/г. У літньо-осінній період спостерігають зростання цього показника, обумовлене попаданням в джерело недостатньо очищених стоків овочеконсервних і цукрових заводів.

До *третьої групи* вододжерел віднесені річки Сів. Донець, Рось, Десна, що характеризують середньою каламутністю води (50-250 мг/дм³) і забарвленістю, що не перевищує 35 град. Не дивлячись на те, що більшість цих річок в районі водозаборів мають зарегульований стік, основний об'єм (до 60 %) осаду утворюється при вказаних значеннях суспензії у воді внаслідок весняного і літньо-осінніх паводків. Осади, що утворюються при очищенні цих вод, мають значну кількість крупних включень, вміст органічних речовин в них не перевищує 30 %, а колоїдних гідроксидів вони містять не більше 3-6 %.

При ущільненні таких осадів спостерігають деформації їх структури, вони порівняно легко віддають воду, маючи при цьому невеликий питомий опір фільтрації $(100-170) \cdot 10^{10}$ см/г.

Четверта група вододжерел представлена річками, що беруть свій початок в горах, несуть в собі значну кількість крупнодисперсної суспензії, в середньому більше 250 мг/дм^3 . До них відносяться річки Криму, Дністер, Прут.

Осади, утворені в результаті очищення такої води, мають найбільш щільну структуру з незначним вмістом органіки. Питомий опір фільтрації таких осадів не перевищує $(10-160) \cdot 10^{10}$ см/г.

Для обробки та механічного зневоднення осадів **1 групи** вибрана безстічна технологічна схема, приведена на рисунку 3.7. Осад, що затримують на водопровідній станції, з вихідною вологістю 99,0-99,5 % спрямовують до вертикального мулозгущувача, в якому ущільнюють 24 години з добавкою вапна в кількості 20 % від ваги сухої речовини осаду, або 20 % глини – в період цвітіння води. Вологість ущільненого осаду – 96–98 %.

Ущільнений осад спрямовують до резервуару готового осаду перед мехзневодненням. Для мехзневоднення додається вапно в кількості 20 % від ваги сухої речовини осаду. При додаванні глини на ущільнення перед мехзневодненням осад нагрівають до 70–80 °С. Осад зневоднюють на фільтр-пресах, тривалість фільтроциклу 15-17 хв. Кількість фільтр-пресів вибирають залежно від добової кількості осаду за сухою речовиною.

Для обробки осадів **2 групи** вододжерел запропонована безстічна технологічна схема, приведена на рисунку 3.8.

Осад, що затримують у горизонтальних відстійниках з вологістю 99,2–99,5 %, подають до мулозгущувачів, де ущільнюють з добавкою вапна в кількості 10 % від ваги сухої речовини осаду протягом 24 годин або з добавкою 10 % глини в період максимального цвітіння води. Вологість ущільненого осаду – 95–97 %.

Кількість фільтр-пресів для механічного зневоднення осаду визначають залежно від об'єму осаду за сухою речовиною. Зневоднений осад спрямовують для подальшої утилізації.

Осади **3 групи** вододжерел (зокрема осади Кочетокської водопровідної станції м. Харкова), що мають початкову вологість 97,5–98 %, ущільнюють без внесення добавок протягом 18–24 годин до вологості 92,0–94,0 % (рис. 3.9). Осад з мулозгущувача через бак готового осаду подають на мехзневоднення. При мехзневодненні здійснюють кондиціонування осадів вапном дозою 10–20 %. При цьому продуктивність фільтр-пресів перевищує $20 \text{ кг/м}^2\text{ год}$. Кількість фільтр-пресів визначають залежно від об'єму осаду за сухою речовиною.

Осади **4 групи** (рис. 3.10) з вихідною вологістю 96–97,5 % ущільнюють практично відразу, тобто за 8–12 годин до вологості 85–92 % в резервуарі-ущільнювачі. Хоча ущільнення осаду досягають за такий короткий час без застосування реагентних добавок, надмулова вода має високий вміст суспензії.

Для отримання більшого освітлення надмулової води проводять добавку вапна при ущільненні в резервуарі-ущільнювачі дозою 2,5 % за сухою

речовиною у вигляді 10 %-ної суспензії. Для цієї групи осадів добавка вапна незначна (до 6 %).

Далі ущільнений осад з вологістю 85–92 % подають на мехзневоднення, яке проводять на фільтр-пресах. Після зневоднення осад утилізують.

Для осадів 3 і 4 груп вододжерел можлива заміна вапна на вапновміщуючі відходи хімовиробництв із вмістом вапна 35–50 %. Дія відходів хімовиробництв порівняна з дією товарного вапна. Величина продуктивності фільтр-пресу при дозі добавки 35 % складає 9–10 кг/м² год, що дає підставу судити про можливу взаємозамінюваність відходів. Далі зневоднений осад утилізують.

У таблиці 3.4 приведені основні технологічні параметри ущільнення осадів, а в таблиці 3.5 – зневоднення осадів всіх чотирьох груп вододжерел.

Таблиця 3.4 – Основні технологічні параметри ущільнення осадів

Групи вододжерел	Параметри ущільнення				
	початкова вологість, %	реагент	кількість реагенту, %	час ущільнення, год.	вологість після ущільнення, %
1	99,0 – 99,5	глина	10 – 20	24	96 – 98
2	99,5 – 98,0	вапно	10 – 20	24	95 – 97
3	98,0 – 97,5	вапно	не більше 5	18 – 24	92 – 94
4	97,5 – 96,0	–	–	8 – 12	85 – 92

Таблиця 3.5 – Основні технологічні параметри зневоднення осадів

Групи вододжерел	Параметри ущільнення					
	тип устаткування	реагент	кількість реагента, %	вологість кека, %	тривалість, с	продуктивність, кг/м ² год
1	фільтр-прес	глина	нагрівання до 70–80 °С	65 – 70	660 – 700	6 – 7
2	фільтр-прес	вапно	20 – 30	60 – 65	615 – 630	12 – 15
3	фільтр-прес	вапно	10 – 20	58 – 60	535 – 580	18 – 23
	вакуум-фільтр		10 – 20	60 – 65		20 – 30
4	фільтр-прес	вапно	5 – 10	52 – 55	480 – 500	22 – 28
	вакуум-фільтр		5 – 10	55 – 60		35 – 45

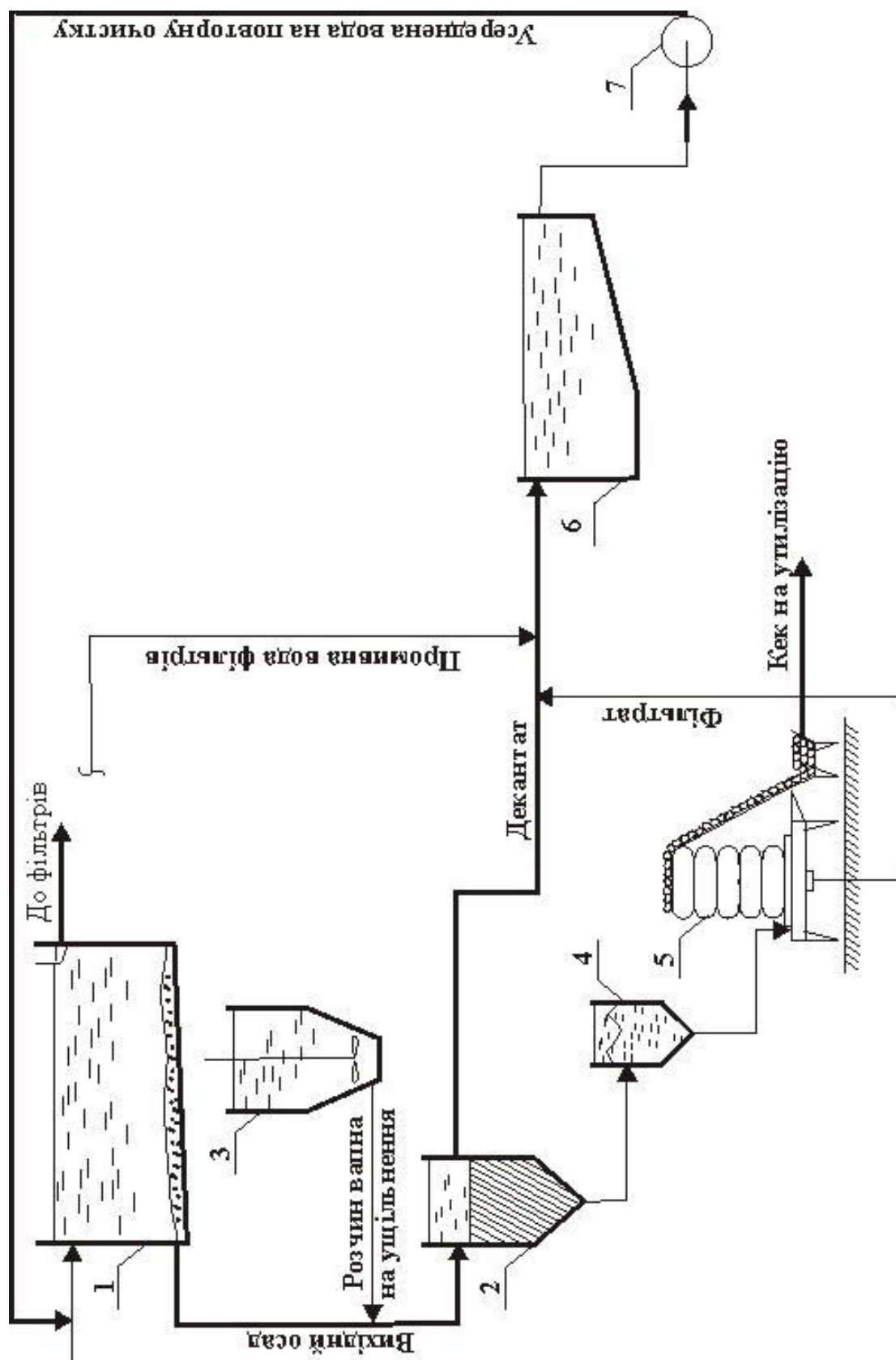


Рисунок 3.8 – Рекомендована схема обробки осадів 2 групи вододжерел:

1 – горизонтальний відстійник; 2 – осадкоущільнювач; 3 – ємкості для приготування вапняного молока;

4 – накопичувач ущільненого осаду; 5 – фільтр-прес; 6 – резервуар-усереднювач промивної води;

7 – насос перекачування усередненої води

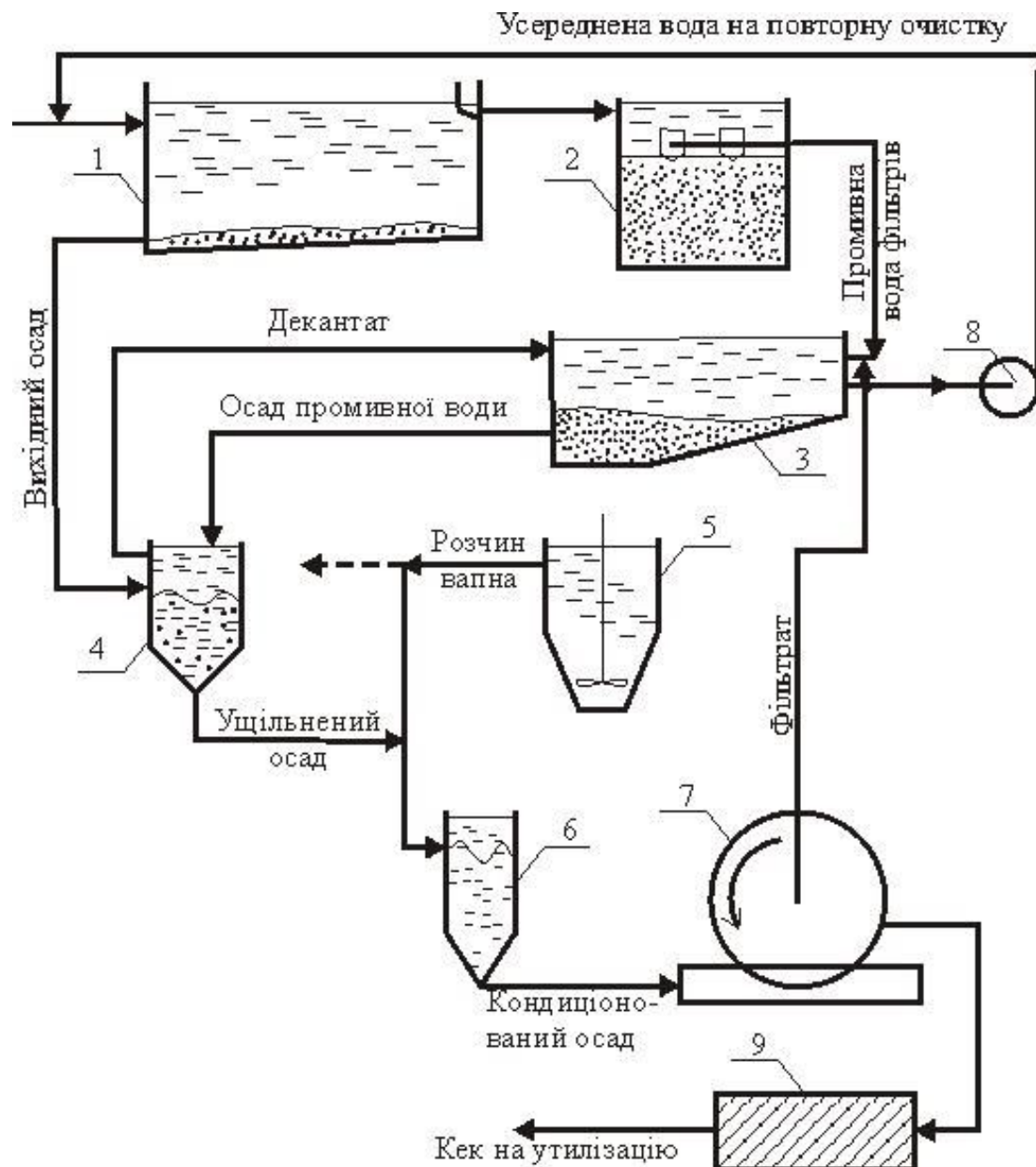


Рисунок 3.9 – Рекомендована схема обробки осадів 3 групи вододжерел:
 1 – горизонтальний відстійник; 2 – швидкий фільтр; 3 – резервуар-усереднювач промивної води; 4 – осадощільнювач; 5 – ємкості для приготування вапняного молока; 6 – накопичувач ущільненого осаду; 7 – вакуум-фільтр; 8 – насос перекачування усередненої води; 9 – складування кека

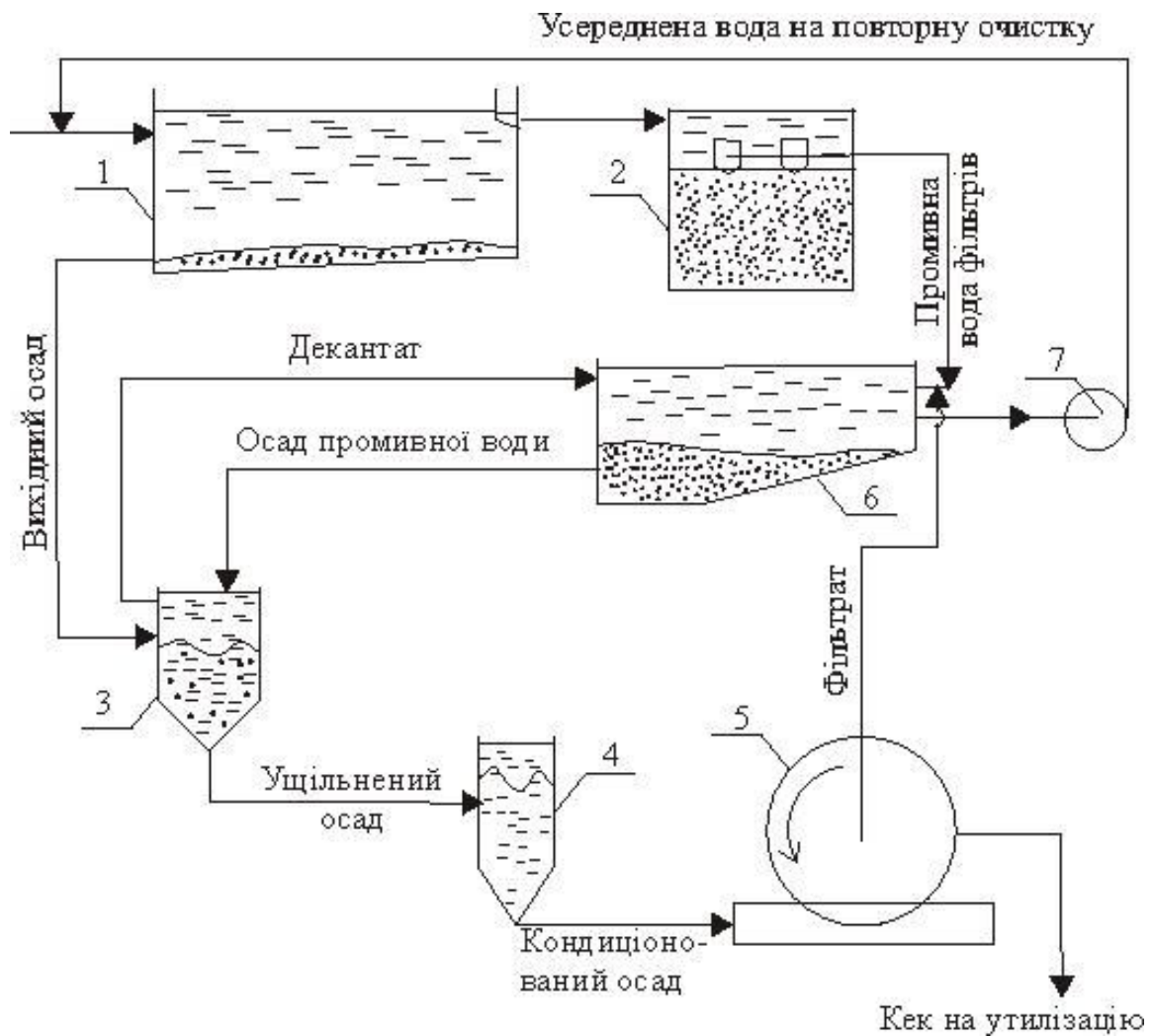


Рисунок 3.10 – Рекомендована схема обробки осадів 4 групи вододжерел:
 1 – горизонтальний відстійник; 2 – швидкий фільтр; 3 – осадоущільнювач;
 4 – накопичувач ущільненого осаду; 5 – вакуум-фільтр; 6 – резервуар-усереднювач; 7 – насос перекачування усередненої води

Обробка вивчених даних. Із застосуванням довідкового матеріалу вибрати групу для конкретного вододжерела, у лабораторному журналі описати склад утвореного осаду, вибрати необхідну схему та обладнання для його обробки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев В. И. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий / В. И. Алексеев, Т. Е. Винокурова, Е. А. Пугачев. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 176 с.
2. Гольдфарб Л. Л. Опыт утилизации осадков городских сточных вод в качестве удобрения / Л. Л. Гольдфарб, И. С. Туровский, С. А. Беляева. – М. : Стройиздат, 1983. – 59 с.
3. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991. – 128 с.
4. Долина Л. Ф. Проектирование станций очистки сточных вод населенного пункта / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : ДИИТ, 2002. – 144 с.
5. Дрозд Г. Я. Техничко-екологічні записки по проблемі утилізації осадків городских и промышленных сточных вод / Г. Я. Дрозд, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2001. – 340 с.
6. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
7. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація / В. С. Кравченко. – К. : Кондор, 2003. – 288 с.
8. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – К. : Вища школа, 1986. – 352 с.
9. Ласков Ю. М. Примеры расчёта канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М. : Стройиздат, 1987. – 255 с.
10. Любарский В. М. Осадки природных вод и методы их обработки / В. М. Любарский. – М. : Стройиздат, 1980. – 128 с.
11. Обработка и удаление осадков сточных вод : в 2-х т. – М. : Стройиздат, 1985. – Т. 1 – 237 с., Т.2 – 248 с.
12. Терещук А. И. Исследование и переработка осадков сточных вод / А. И. Терещук. – Львов : Вища школа, 1988. – 146 с.
13. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод / И. С. Туровский. – М. : Стройиздат, 1988. – 256 с.
14. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. - М. : АСВ, 2004. – 704 с.
15. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 210 с.

Виробничо-технічне видання

Методичні рекомендації
до проведення лабораторних робіт
із навчальних дисциплін

«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»
і
«ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ»

*(для студентів 5–6 курсів денної і заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»
спеціальностей 192 – Будівництво та цивільна інженерія
(спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів») та
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Укладач **СОРОКІНА** Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2017, поз. 107 М

Підп. до друку 23.10.2017. Формат 60 × 84 /16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,5.

Зам. № . Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.